

UNIFICACIÓN DE COMUNICACIONES ENTRE EL VEHÍCULO Y LA CENTRAL EMPLEANDO EL PROTOCOLO IPV6

Felipe Jiménez Alonso

Doctor Ingeniero Industrial. Director de la Unidad de Sistemas Inteligentes en Vehículos del INSIA. Universidad Politécnica de Madrid.

Campus Sur UPM. Carretera de Valencia km 7, 28031 Madrid.

email: felipe.jimenez@upm.es

David Ortega Abad

Ingeniero en Informática. Ingeniero de I+D. Telefónica Investigación y Desarrollo

Parque Tecnológico Walqa, Crta. Zaragoza N330-A Km 566, Edificio 1, 22197 Cuarte (Huesca) España.

email: doa@tid.es

Juan Antonio Alonso Navales

Ingeniero Superior de Telecomunicación. Consultor de Sistemas. Consultoría e Integración C/ Gómez Tejedor 24 – 9, 28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid)

email: jalonso.n@gmail.com

Antonio Ibáñez Costa

Ingeniero en Informática. Responsable de Integración. Llacer y Navarro S.L.

Camí les bruixes s/n, 46780 Oliva (Valencia)

email: aibanez@llacerynavarro.com

RESUMEN:

Las arquitecturas de comunicación presentes actualmente en el campo de la gestión de flotas, hacen uso de diversas conexiones para tratar con los diferentes tipos de comunicaciones que se establecen entre los vehículos y la central, ya sea para transmitir voz, datos o para enviar y recibir faxes.

En un intento de solucionar esta situación, el proyecto DAMA estudia la mejor manera de centralizar todas estas comunicaciones en un dispositivo de bajo coste, que actúe como

único punto de acceso entre el mundo exterior y el vehículo, utilizando en cada momento la mejor red de acceso disponible.

La utilización del protocolo IPV6, y más concretamente el servicio de movilidad a nivel de red que éste proporciona (MIPv6), junto con las técnicas de movilidad a nivel de aplicación proporcionadas por el protocolo de señalización SIP, son los pilares básicos en los que se basa la solución propuesta por DAMA.

1.- INTRODUCCIÓN

Los grandes avances conseguidos en los últimos años en el campo de las telecomunicaciones ofrecen nuevas posibilidades en el ámbito del transporte, tanto para mejorar la seguridad como la eficiencia. En la misma línea, el posicionamiento también tiene aplicación en el campo de la seguridad contra actos vandálicos o robos (concepto de 'security').

En cuanto al transporte de mercancías, cada vez se persigue más alcanzar el 'just in time', así como ofrecer servicios adicionales al cliente como seguimiento de cargas, etc. Este seguimiento de mercancías y vehículos también resulta de gran utilidad para las propias empresas de transporte para optimizar su operación y encontrar anomalías que corregir. Así, se plantea que es posible redirigir a los vehículos para evitar o reducir los tiempos de espera y hacer una entrega más rápida y eficiente, sin retrasos.

No obstante, a pesar de las mejoras en el sistema logístico, todavía se presentan los siguientes puntos negativos:

- Gran número de operaciones sin coordinación realizadas por flotas de pequeño tamaño
- Gran parte de la capacidad de transporte es infrautilizada (por los recorridos de regreso en vacío)
- Pérdidas de tiempo por diferentes causas

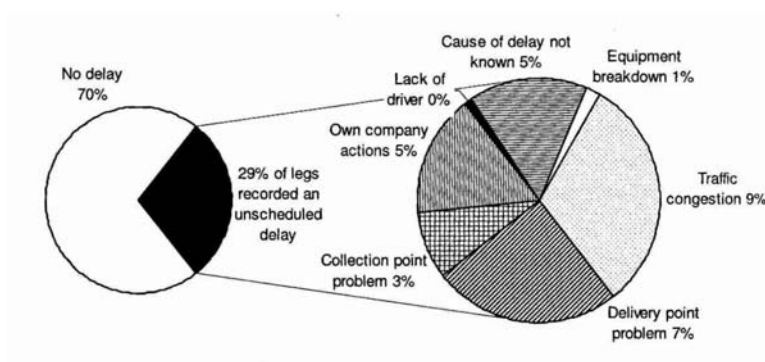


Figura 1 - Causas de retraso en reparto de productos alimenticios (McKinnon y Ge, 2003)

Frente a ellos, la telemática puede dar respuesta, entre otros, a los siguientes aspectos:

- Cálculo de una mejor secuencia de reparto con el consiguiente ahorro de tiempo y combustible
- Posicionamiento de vehículos para la planificación de transportes y realización de estadísticas
- Comunicación entre el conductor y la central por medio de dispositivos portátiles como una PDA que permiten intercambiar mensajes y automatizar procesos administrativos como la confirmación de entrega. Esto supone un servicio que da valor añadido ('infomobility')

La gestión de flotas, ayudándose de sistemas ITS, mejora en eficiencia y hace un mejor uso de la capacidad de los vehículos... De esta forma, el seguimiento continuo y la comunicación con el centro de control puede permitir reorganizaciones y adaptarse a requerimientos cambiantes. Una ventaja adicional que se está contemplando cada vez con mayor intensidad es el acceso a información en tiempo real de tráfico, estado de carretera y meteorología.

Por último, cabe indicar que la gestión de flotas por estos medios basados en las telecomunicaciones es un campo con grandes posibilidades de crecimiento, ya que, en el año 2003 en Alemania sólo el 17% de los camiones estaba equipado con unidades a bordo, lo que supone un margen muy amplio para el crecimiento.

2.- ESCENARIO TECNOLÓGICO

En la actualidad, las arquitecturas de comunicación presentes actualmente en el campo de los sistemas de transporte inteligentes, hacen uso de diversas conexiones para tratar con los diferentes tipos de comunicaciones que se establecen entre los vehículos y la central, ya sea para transmitir voz, datos (obtenidos de los sensores de los vehículos y del dispositivo GPS) o para enviar y recibir faxes.

En un intento de solucionar esta situación, el proyecto DAMA estudia la mejor manera de centralizar todas estas comunicaciones en un dispositivo de bajo coste, que actúe como único punto de acceso entre el mundo exterior y el vehículo, utilizando en cada momento la mejor red de acceso disponible. En este sentido, dicho dispositivo ha de ser capaz de, por ejemplo, utilizar una conexión Ethernet o wifi cuando el vehículo se encuentre dentro de las instalaciones de la empresa, cambiando a un acceso móvil 3G cuando no lo esté, con el requisito de no perder las sesiones abiertas.

2.1.- Análisis de costes

Un análisis de los costes de comunicaciones en un sistema de gestión de flotas muestra que parte de éste se debe a tarificación realizada en roaming con compañías sin acuerdo con los operadores de comunicaciones contratados. Aunque es difícil observar este hecho en los datos de facturación, la experiencia técnica en el uso continuo de estos sistemas de comunicación permite deducir que una importante parte del coste se debe a las sucesivas conexiones y desconexiones que se producen en las fronteras de los países debido al cambio de operador. Estos cambios de operador se producen en zonas donde la cobertura de ambos oscila. Como solución, la utilización de protocolos de comunicaciones más avanzados puede suponer un descenso en el número de reconexiones y pérdidas de sesiones, reduciendo en consecuencia los costes asociados a este aspecto.

Donde mayores beneficios se pueden esperar es, sin embargo, en el rediseño de la arquitectura actual con el objetivo de reducir el número de equipos utilizados y, por tanto, la inversión en material y mantenimiento de éste. El rediseño de la arquitectura sólo es posible contando con un equipo capaz de funcionar como un gestor de comunicaciones como el

planteado por DAMA y que, utilizando protocolos fiables que resuelvan problemas como el de la movilidad, puedan comunicarse eficientemente con la central.

2.2.- Arquitectura actual

En una empresa de transporte se identifican los entornos siguientes:

- El medio de transporte (camión).
- El entorno de comunicaciones con la central.
- La empresa constituida por oficinas, logística, almacenes y talleres.

Así, la infraestructura tecnológica en el vehículo está constituida por:

- Sensores varios
- Equipo de localización.
- Receptor GPS
- Transmisor-Receptor GSM-GPRS
- Fax
- Receptor GSM para el Terminal Fax
- Teléfono móvil del conductor.

La conexión de los diferentes dispositivos o periféricos no se realiza a un único controlador de comunicaciones, sino que cada equipo gestiona sus propios dispositivos o sensores como es el caso del terminal de localización y las comunicaciones con la central se realizan utilizando uno o varios módems GSM o GPRS, siendo la imposibilidad de utilizar protocolos estándar de comunicaciones, una de las dificultades con las que se enfrenta la solución de conectividad actual.

Por otra parte, se realizan diferentes conexiones con el centro de control para realizar tres funciones:

- Comunicaciones de voz
- Transmisión de faxes
- Transmisión de datos de posición y estado de sensores

Durante bastante tiempo y prácticamente en la gran mayoría de los sistemas de gestión de flotas el método más empleado para la transmisión de datos ha sido el envío de mensajes

cortos (SMS), lo que requiere la utilización de grupos de modems para el envío de solicitudes de información, así como el empleo de bastante tiempo para la recepción de los datos de una flota completa (unos 200 vehículos aproximadamente).

Tras la aparición de GPRS se dio un salto importante en la transmisión de datos utilizando TCP/IP como protocolo de transporte para la transmisión de datos, eliminando de esta forma la necesidad de grupos de modems y los costosos tiempos de establecimiento de sesión y los segundos requeridos para el envío de mensajes cortos.

En conclusión, la mayoría de las arquitecturas actuales utilizan tecnologías GSM-GPRS-UMTS para la transmisión de voz según la zona de cobertura en la que se encuentre el terminal de audio del conductor y poco a poco la transmisión de datos de localización utilizando GSM (SMS) está siendo sustituida por transmisión de tramas TCP-UDP sobre GPRS. Como se ha comentado para realizar estas tareas, los equipos de comunicaciones inalámbricas con el exterior pueden estar duplicados, lo cual supone un aumento considerable del coste de altas y mantenimientos de las líneas de comunicaciones, así como del mantenimiento de los equipos en sí.

2.3.- Tecnologías actuales y emergentes

Para intentar mejorar la situación actual, se han estudiado distintas alternativas tecnológicas susceptibles de ser utilizadas en el ámbito de los Sistemas Inteligentes de Transporte, agrupadas en torno a tres niveles: tecnologías de acceso, tecnologías de red y tecnologías de comunicación entre aplicaciones.

Dentro de las primeras, se han evaluado las diferentes tecnologías de comunicaciones existentes y emergentes, valorando las características que deben cumplir para ser adecuadas en las comunicaciones en el entorno vehicular y en las comunicaciones con la central. La tabla siguiente muestra si cada tecnología es apta o no para aplicaciones en el vehículo y entre el vehículo y el centro de control.

Tabla 1: Análisis de tecnologías de comunicaciones

Tecnología/Comunicación	Equipos embarcados	Centro de Control - Vehículo
RS-232	✓	✗
Ethernet	✓	✗
USB	✓	✗
Bluetooth	✓	✗
Wifi	✓	✓
Zigbee	✓	✗
Wimax	✗	✓
GSM	✗	✓
GPRS	✗	✓
3G	✗	✓
UltraWideBand	✗	✗

En lo que a las tecnologías de red respecta, a continuación se detallan más detenidamente las principales características de IPv6 y de los aspectos que hacen que la gestión de la movilidad sea mucho más eficiente utilizando éste protocolo en lugar de IPv4.

Principales características de IPv6

IPv6 se creó a principios de los años 90 para solucionar los principales problemas detectados en IPv4, principalmente el escaso tamaño de direccionamiento existente en este protocolo. Aunque hoy en día todavía está en proceso de implantación, la aparición incesante de nuevos servicios con requisitos de movilidad, QoS, seguridad, etc... hace que se vaya desplegando a nivel mundial, donde por el momento, coexiste con IPv4.

La característica más conocida de IPv6 es la de su amplio espacio de direccionamiento. Como bien es sabido, las direcciones de red IPv4 son de 32 bits, algo que resulta insuficiente en el entorno tecnológico inminente, en el que se plantea dar direcciones IP a cada móvil, GPS, coche, electrodoméstico... en definitiva, a cada dispositivo con necesidades de conectividad. Es por esto que IPv6 utiliza direcciones de 128 bits, lo que proporciona un espacio de direccionamiento casi inagotable.

Otra de las características principales de IPv6 es la capacidad de autoconfiguración, entendida como el conjunto de acciones que se dan para que un dispositivo que se conecta a la red configure sus interfaces IPv6, es decir, obtenga una dirección IP y disponga, gracias

a ella, de conectividad con el resto de los dispositivos de la red. Otro aspecto diferenciador es la seguridad. Para proporcionar un mayor nivel de seguridad, se diseñó en 1998 el protocolo IPSec, que es una extensión para los protocolos IP que proporciona seguridad a nivel de red. El uso de IPSec es sólo voluntario en IPv4 pero obligatorio en el núcleo del protocolo IPv6 haciéndolo de manera nativa mucho más seguro que IPv4.

Además, IPv6 ofrece otras muchas mejoras con respecto a IPv4 como pueden ser: el soporte nativo para la calidad de servicio (QoS), la utilización de paquetes extensibles y eficientes con una cabecera de longitud fija que agiliza su procesamiento en los routers, la posibilidad de utilizar paquetes con una carga útil de datos de más de 65535 bytes (límite IPv4), permitir un encaminamiento más eficiente en la red troncal, escalabilidad y sobre todo, el soporte nativo para la movilidad IP.

Movilidad IPv4

MIPv4 es un protocolo creado por la IETF (descrito en el RFC 3344) con el objetivo de permitir que los dispositivos puedan moverse de una red a otra manteniendo invariable su dirección IP, de forma que se puedan mantener abiertas las sesiones establecidas previamente. Así, Mobile IPv4 asigna a cada nodo móvil un par de direcciones IP:

- “home address” o dirección local, que es la dirección IP fija asignada al nodo dentro de su red local de acceso o “home network”.
- “care-of-address” o dirección de auxilio, que es la dirección temporal asignada dinámicamente al nodo cuando cambia de red de acceso.

Para poder tener localizable en todo momento al nodo sin importar desde donde esté accediendo, hace falta, además, introducir en cada subred dos nuevos tipos de entidades que se encargan de controlar esta información:

- Home Agent (HA) que almacena la información de los nodos móviles cuya “home address” pertenece a su misma red.
- Foreign Agent (FA) que almacena la información de cada nodo móvil que está visitando su red.

De esta forma, cualquier nodo móvil está en todo momento localizable. Por un lado, cuando se encuentre dentro de su red local de acceso será alcanzable de la manera habitual. Por otra parte, cuando el nodo esté fuera de su home network, obtendrá una dirección IP temporal (care-of-address) en la red “visitada”, la registrará en su home agent y se creará un

túnel entre ambos. A partir de ese momento, los paquetes enviados a la home address del nodo serán interceptados por su home agent y reenviados a través del túnel hacia la care-of-address. Así, por un lado los paquetes que envíen otros nodos al nodo móvil deberán utilizar el túnel creado entre éste (su care-of-address) y su home agent mientras que por otro, los paquetes que envíe el nodo móvil hacia otros nodos no lo harán, provocando una asimetría conocida con el nombre de triangulación de las comunicaciones, que no es en absoluto recomendable.

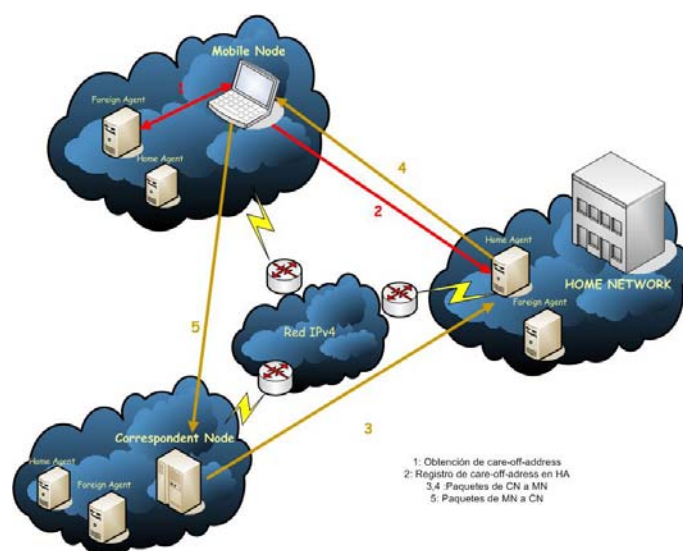


Figura 2: Triangulación en MIPv4

Movilidad IPv6

Al igual que MIPv4, MIPv6 fue diseñado por la IETF para proporcionar la funcionalidad de movilidad a nivel de red a los dispositivos que utilicen el protocolo IPv6. Las principales ventajas que presenta con respecto a la movilidad IPv4 son:

- Routing optimizado, evitando el routing triangular desde un correspondent node a un nodo móvil via "Home Agent" lo que reduce los retardos en las comunicaciones y la congestión de la red.
- La seguridad IP está disponible de forma nativa en el protocolo.
- El mayor espacio de direccionamiento disponible en IPv6 hace que el despliegue de los mecanismos que aportan movilidad sea mucho menos costoso.
- La autoconfiguración de las direcciones IPv6 simplifica la asignación de la care-of-address para el nodo móvil.

A cambio, se debe añadir una nueva estructura en todos los nodos IPv6 llamada “Binding Cache” y que se utiliza para mantener las direcciones care-of-address asignadas a los nodos móviles con los que se está manteniendo una comunicación en un momento determinado.

A grandes rasgos, el funcionamiento de este protocolo es el siguiente. En primer lugar, el nodo móvil ha de determinar si se encuentra en su red local o no. Para ello, analizará un tipo especial de mensajes multicast enviados por los routers dentro de su subred. Si alguno de los prefijos de red incluidos en esos mensajes coincide con el prefijo de la red local del nodo móvil, éste sabrá que no se ha movido. Si no es así, el nodo sabrá que está en una red ajena, por lo que intentará adquirir una care-of-address, utilizando alguno de los mecanismos de autoconfiguración disponibles en IPv6. Una vez que el nodo móvil se ha registrado en su nueva red, enviará un mensaje de control a los correspondent nodes que en ese momento se estén comunicando con él. Así, estos nodos dispondrán en caché de la dirección actual del nodo (care-of-address) y podrán enviarle directamente los paquetes sin necesidad de acceder al home agent. De esta forma, todos los nodos IPv6 dispondrán de la denominada “Binding Cache” que analizarán antes de enviar cualquier paquete. Si hay una entrada en la caché para el nodo en cuestión, se enviará el paquete utilizando una cabecera de encapsulación con dos saltos: el primero dirigido al care-of-address y el segundo a la dirección local. El nodo móvil lo recibirá a través de su care-of-address y lo reenviará al próximo salto, que es el mismo (identificado a través de su dirección local). Si, por el contrario, no hay entrada en la caché para el nodo, el paquete se enviará de la manera habitual, utilizando el triangle routing.

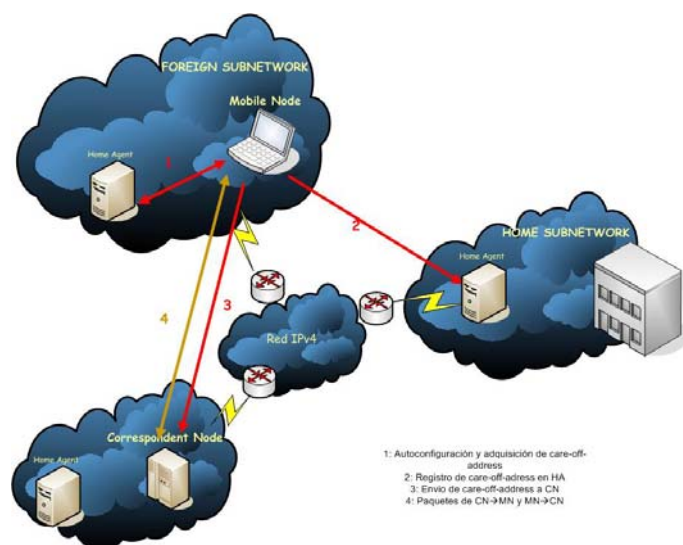


Figura 3: Movilidad MIPv6

La utilización del protocolo IPV6, y más concretamente el servicio de movilidad a nivel de red que éste proporciona (MIPv6), junto con las técnicas de movilidad a nivel de aplicación proporcionadas por el protocolo de señalización SIP, son los pilares básicos en los que se basa la solución propuesta por DAMA.

3.- DEMOSTRADOR

Como implementación práctica en el proyecto DAMA, se ha realizado un prototipo para aplicar las tecnologías analizadas a la organización de un sistema de gestión de flotas con las funcionalidades exigidas en el sector del transporte. Lo que se intenta conseguir es, por un lado, realizar todas las comunicaciones entre vehículo y central por medio de IPV6 y, por otro, dentro del vehículo, intentar que las comunicaciones entre los distintos dispositivos embarcados y el sistema especificado por DAMA como concentrador de comunicaciones, se realicen de la manera más sencilla y transparente posible, evitando cableados innecesarios a bordo del vehículo y el establecimiento de más de una forma de comunicación simultánea. Esto último podría suponer un importante ahorro de costes a las compañías del sector, pues, como se ha podido analizar a lo largo del proyecto, en la actualidad se llegan a establecer hasta tres comunicaciones GMS/GPRS simultáneas: una para voz, otra para comunicar con el terminal de localización y la tercera para realizar el envío/recepción de faxes.

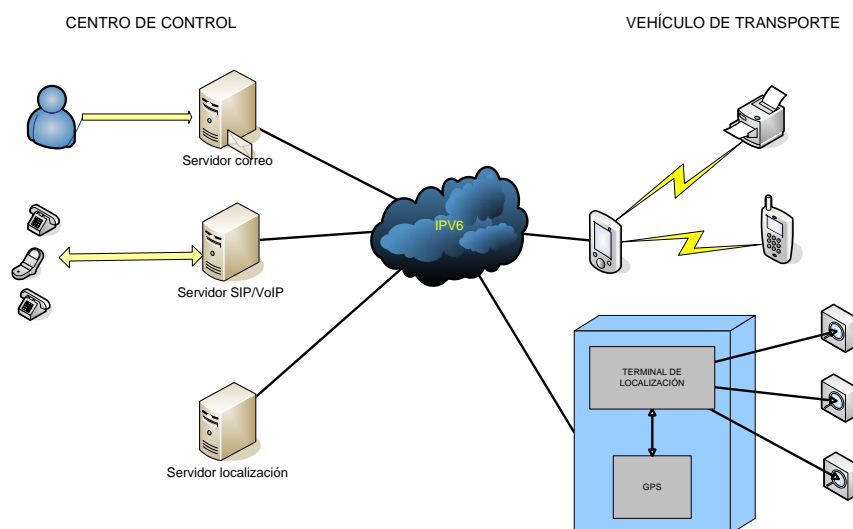


Figura 4: Arquitectura propuesta

Las pruebas realizadas y las funcionalidades que forman parte del demostrador han sido:

Uso de cartografía embarcada y localización GPS

En lugar de terminales dedicados se ha propuesto y testado la utilización de terminales telefónicos cargados con el software tom tom NAVIGATOR versión 6 y conectados mediante bluetooth a un dispositivo GPS.

Con el objeto de reducir al mínimo el uso de las capacidades de cómputo del equipo, éste se utiliza sólo como interfaz de comunicaciones de la central con el dispositivo GPS, recibiendo las solicitudes de información, requiriendo la información al dispositivo GPS y transmitiendo hacía la central las tramas recibidas en formato NMEA.

El sistema de transmisión de datos de localización queda como sigue:

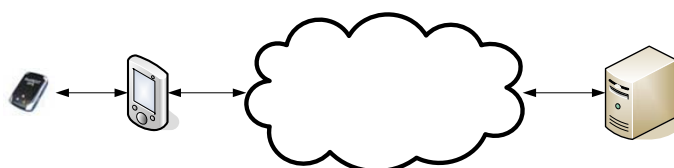


Figura 5: Sistema de transmisión de datos de localización

Siempre que haya conectividad, independientemente del tipo de acceso utilizado el terminal estará accesible a través de su dirección IPv6, por lo que se podrá acceder a él directamente desde la central.

Transmisión de documentos facsímil

Se propone el abandono de las técnicas actuales basadas en el uso de modems GSM y dispositivos de fax embarcados, para sustituirlos por una de las siguientes alternativas.

Por un lado se puede generalizar el uso de correos electrónicos que pueden ser recibidos en el dispositivo concentrador de comunicaciones de los vehículos y posteriormente impresos por los conductores

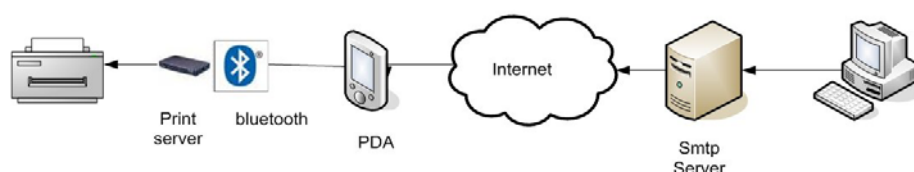


Figura 6: Utilización de PDA y bluetooth en la trasmisión de fax

Y por otro, se puede implementar el acceso remoto a las impresoras embarcadas, dotadas con direcciones de red IPv6 y accesibles en todo momento desde la central. De esta forma, directamente desde la central se pueden mandar órdenes de impresión a las impresoras de los vehículos.

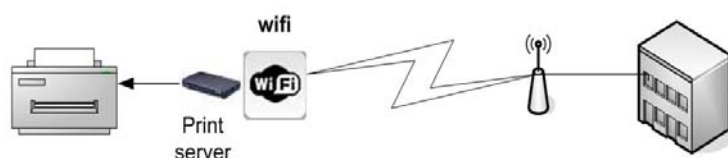


Figura 7: Utilización de wifi en la transmisión de fax

Comunicaciones de voz utilizando VoIP

Se propone que, siempre que sea posible, se utilice la VoIP para realizar las comunicaciones entre los vehículos y la central. Para ello, el dispositivo concentrador de comunicaciones permitirá que el equipamiento de VoIP embarcado (agentes software o dispositivos con acceso wifi a él) establezcan conexiones contra el proxy de VoIP situado en la central que proporcionará la dirección del usuario con el que se quiere comunicar. Para ello se podrán utilizar accesos wifi cuando estén disponibles (vehículo cercano a la central) o UMTS/HSxPA (vehículo en itinerancia). De esta forma, se ahorrarían costes en llamadas, que irían destinados a financiar una tarifa plana 3G sobre la que se enviarían los datos.

En cuanto a los elementos necesarios para gestionar este tipo de comunicaciones, es necesario instalar por un lado un servidor de VoIP en la central, accesible mediante IPv6. En las pruebas se ha utilizado SIP Express Router (SER) un software 'open source' que actúa como Proxy SIP sobre UDP y TCP y además de soportar IPv6 permite solucionar el 'NAT traversal' en caso de utilizarlo sobre IPv4

Por otro lado, en el vehículo de transporte, es necesario bien utilizar un dispositivo hardware que soporte conectividad SIP mediante IPv6, bien instalar un cliente software con los mismos requisitos en el mismo concentrador de comunicaciones (PDA o tabletPC). Algunos con los que se han hecho pruebas han sido los siguientes:

- Linphone (Linux sobre ipv6 e ipv4)
- Kapanga (Windows sobre ipv6 e ipv4)
- Kphone (linux sobre ipv4)
- SjPhone (Windows y linux sobre ipv4).

4.- CONCLUSIONES

Del proyecto DAMA se ha derivado un estudio de viabilidad y una primera aproximación a la solución integrada de sistema de gestión de flotas, habiéndose incidido en los siguientes aspectos:

- Análisis de nuevas alternativas en lo que a comunicaciones y aplicaciones se refiere que pueden ser utilizadas en el campo de los sistemas de transporte de mercancías en un futuro próximo
- Realización de experimentos basados en las tecnologías que se han considerado más apropiadas apoyándose en el estudio teórico previo
- Identificación de las características más importantes que deberían componer un sistema genérico de gestión de flotas avanzado, que pudiera integrar en un único dispositivo de coste no muy elevado, todas las comunicaciones y aplicaciones que hoy en día se ofrecen en este entorno a base de replicar comunicaciones y utilizar un alto número de dispositivos con el coste que eso supone.

Como continuación del proyecto DAMA se plantea el diseño, la implementación y la prueba de un dispositivo capaz de actuar como concentrador de las comunicaciones entre los vehículos de transporte y las centrales logísticas, utilizando el protocolo IPv6 y las funcionalidades de movilidad avanzadas que éste proporciona, para que los dispositivos embarcados estén accesibles en todo momento desde la central, independientemente de la red de acceso utilizada por el vehículo. Por otra parte, se propone establecer la arquitectura básica que, apoyándose sobre el concentrador de comunicaciones, además de emplearse con fines de explotación de flotas y supervisión de vehículos, se emplee con fines de mejora de la seguridad y la eficiencia del transporte por carretera con la introducción de dispositivos de medida y registro de señales embarcado.

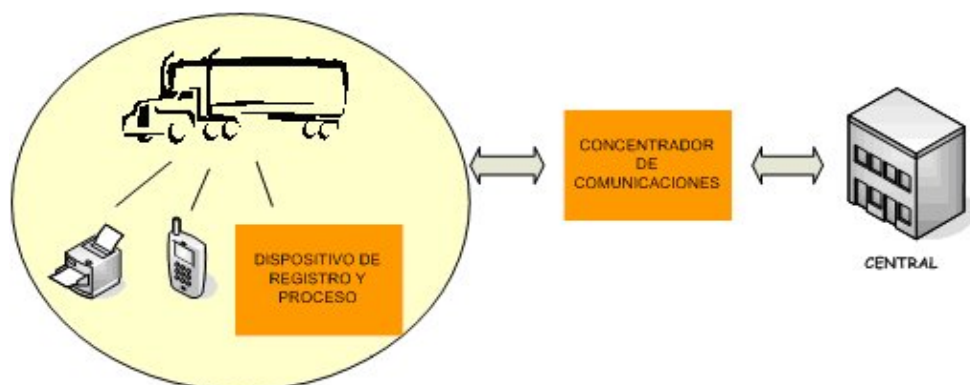


Figura 8: Extensión del proyecto DAMA

AGRADECIMIENTOS

El proyecto DAMA ha sido cofinanciado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007, y ha sido desarrollado conjuntamente por Telefónica I+D (coordinador), Llacer y Navarro e INSIA (Universidad Politécnica de Madrid)

BIBLIOGRAFÍA

EDMAP CONSORTIUM (2004). "Enhanced digital mapping project". Final report.

ESAFETY FORUM (2005). "Digital maps Working Group Final Report". Brussels: European Commission (eSafety Forum)

Freight transport telematics within the DRIVE II Programme. Report of Area 6 (Freight and Fleet Management) Extended Area 6 Report. (Version 3.1)

GERLAND, H.E. (1993) "ITS Intelligent Transportation System: Fleet Management with GPS Dead Reckoning, Advanced Displays, Smartcards, etc". IEEE - IEE Vehicle Navigation & information Systems Conference, Ottawa - VNIS '93.

GILLEN, D.; HAYNES, M. (2002) "Public and Private Benefits in Intelligent Transportation Systems/Commercial Vehicle Operations: Electronic Clearance and Supply Chain Management". Report UCB-ITS-PRR-2002-18.

GODFREY, G.A.; POWELL, W.B. (2002) An Adaptive Dynamic Programming Algorithm for Dynamic Fleet Management, I: Single Period Travel Times. Transportation Science, Vol. 36, No. 1, February 2002 pp. 21–39.

GODFREY, G.A.; POWELL, W.B. (2002) An Adaptive Dynamic Programming Algorithm for Dynamic Fleet Management, II: Multiperiod Travel Times. Transportation Science, Vol. 36, No. 1, February 2002 pp. 40–54.

HERMANS, F., HASKINS, D., WATERSON, B., MCCULLOUGH, F. Y JENKINS, M. (2003). "PROBEIT: Server design and data integration". 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services. Madrid: 16 – 20 Noviembre 2003

MCDONALD, M., KELLER, H., KLIJNHOUT, J., MAURO, V., HALL, R., SPENCE, A., HECHT, C. Y FAKLER, O. (2006). "Intelligent transport systems in Europe. Opportunities for Future Research". World Scientific

NJORD, J., PETERS, J., FREITAS, M., WARNER, B., ALLRED, K.C., BERTINI, R., BRYANT, R., CALLAN, R., KNOPP, M., KNOWLTON, L., LÓPEZ, C. Y WARNE, T. (2006). "Safety applications of intelligent transportation systems in Europe and Japan". Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation.

Organisation for Economic Co-operation and Development (2003). Road Safety. Impact of New Technologies. OECD Publications (France)

Página web del proyecto DAMA: <http://www.insia-upm.es/proyecto-dama-12-fi.asp>

Página web del proyecto FLEETNET: <http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/>

Página web del proyecto GOOD ROUTE: Dangerous Good Transportation Routing, Monitoring and Enforcement. <http://www.goodroute-eu.org>.

Página web: <http://www.benefitcost.its.dot.gov>. Base de datos mantenida por el Intelligent Transportation Systems (ITS) Joint Program Office (JPO) del U.S. Department of Transportation (USDOT).